

Penentuan modulus deformasi massa batuan dengan uji dilatometer





© BSN 2015

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

Daftar isi	i
Prakata	ii
Pendahuluan	iii
1 Ruang lingkup	1
2 Istilah dan definisi	1
3 Prinsip	1
4 Peralatan	1
5 Prosedur	2
6 Perhitungan	4
7 Pelaporan	5
Bibliografi	10
Lampiran A (informatif) Skema sistem peralatan dilatometer tipikal	6
Lampiran B (Informatif) Skema kurva tekanan volume pada uji dilatometer	8
Lampiran C (informatif) Contoh kurva kalibrasi	9

Prakata

Standar Nasional Indonesia 6664:2015, *Penentuan modulus deformasi massa batuan dengan uji dilatometer* merupakan revisi dari SNI 13-6664-2002, *Penentuan modulus deformasi massa batuan dengan uji dilatometer probex-1*. Revisi ini meliputi perubahan judul dan isi standar untuk memperjelas maksud dan tujuan penerapan standar ini dalam menentukan modulus deformasi massa batuan di lapangan.

Standar ini disusun berdasarkan Pedoman Standardisasi Nasional Nomor 8 tahun 2007, tentang Penulisan Standar Nasional Indonesia.

Standar ini dirumuskan oleh Komite Teknis 73-02, Teknik Pertambangan Mineral dan Batubara melalui proses perumusan standar dan terakhir dibahas dalam rapat konsensus pada tanggal 25 November 2014 yang dihadiri oleh perwakilan dari pemerintah, produsen, konsumen, dan institusi terkait lainnya. Standar ini juga telah melalui tahapan konsensus nasional, yaitu Jajak Pendapat pada periode 9 Februari 2015 sampai dengan 8 April 2015.



Pendahuluan

Pengujian sifat mekanik batuan di laboratorium, meliputi antara lain pengujian kuat tekan uniaksial, kuat tarik, kuat tekan triaksial, dan modulus elastisitas, umumnya dilakukan terhadap contoh batuan utuh sehingga menghasilkan parameter kekuatan batuan utuh.

Dalam merancang bukaan tambang diperlukan adanya rekayasa geoteknik, yang membutuhkan data parameter kekuatan massa batuan, diantaranya adalah modulus deformasi, yang hanya dapat diperoleh dari uji insitu.

Uji dilatometer di dalam lubang bor (*borehole dilatometer test*) adalah salah satu cara yang dapat digunakan untuk menentukan modulus deformasi massa batuan di lapangan. Oleh karena itu, penentuan modulus deformasi massa batuan dengan uji dilatometer perlu distandarkan.



Penentuan modulus deformasi massa batuan dengan uji dilatometer

1 Ruang lingkup

Standar ini menetapkan metode untuk menentukan modulus deformasi massa batuan dengan uji dilatometer di dalam lubang bor, yang meliputi ruang lingkup, acuan normatif, istilah dan definisi, serta cara uji yang memuat prinsip, peralatan, persiapan, prosedur, pernyataan hasil, dan laporan hasil uji.

2 Istilah dan definisi

2.1

modulus deformasi massa batuan

parameter yang menggambarkan sifat mekanik massa batuan yang merupakan tangen bagian linier dari kurva hubungan tegangan deformasi hasil dari pengujian di dalam massa batuan

2.2

borehole dilatometer

salah satu alat yang digunakan untuk menentukan modulus deformasi massa batuan lunak sampai batuan sedang melalui pengujian insitu dengan cara pengembangan *probe* di dalam lubang bor.

3 Prinsip

Pengembangan *probe* dilatometer di dalam lubang bor pada massa batuan yang diuji, menekan dinding lubang bor sehingga menyebabkan massa batuan itu mengalami deformasi. Besarnya deformasi yang terjadi pada massa batuan identik dengan perubahan volumetrik di dalam *probe* dilatometer. Tekanan di dalam *probe* dilatometer kemudian ditingkatkan secara bertahap (*incremental*) untuk melanjutkan pengembangan, sehingga dapat dicatat beberapa pasangan data tekanan dan volume di dalam *probe*. Selanjutnya, pasangan data ini digunakan untuk membuat kurva hubungan antara tekanan dan volume, yang akan digunakan dalam menentukan modulus deformasi massa batuan.

4 Peralatan

- a) *Probe* dilatometer (Lampiran A), yang terdiri dari :
 - bagian *probe* yang dapat dikembangkan-kempiskan, dan
 - bagian modul hidraulik bolak - balik (*dual action*)
- b) Modul pengukuran (Lampiran A), yang terdiri dari :
 - unit pompa tangan hidraulik, lengkap dengan manometer tekanan untuk pengembangan dan transduser tekanan (*pressure transducer*), serta manometer tekanan untuk pengempisan,
 - unit alat pembaca (*readout unit*) perubahan volume dan tekanan
- c) Selang hidraulik dan kabel listrik (Lampiran A), untuk menghubungkan pompa hidraulik, *probe* dilatometer, dan unit alat pembaca.
- d) Tabung kalibrasi terbuat dari besi baja yang kuat, (tipikal: modulus elastisitas $E_m = 207 \times 10^3$ MPa. Nisbah Poisson $\nu = 0,2$, berdiameter dalam 76,2 mm, diameter luar 101,6 mm dan panjang 91,0 cm).

- e) Perangkat alat pengeboran inti lengkap, dengan ukuran inti yang disesuaikan dengan diameter *probe* dilatometer yang digunakan (contoh: NX, dengan batang bor ukuran AW, klem (*clamp*), subbatang bor ukuran AW ke *casing* ukuran BW).
- f) Alat *caliper logging*.
- g) Air bersih

5 Prosedur

5.1 Persiapan

- a) Buat lubang bor inti di dalam massa batuan yang akan diuji sampai kedalaman kira-kira 1 (satu) meter lebih dalam daripada level bawah posisi alat dilatometer rencana pengujian.
- b) Dengan menggunakan *caliper logging*, periksa dan yakinkan bahwa dinding lubang bor mulus (*smooth*) dan mempunyai diameter sedikit lebih besar (maksimum 5 mm) daripada diameter luar *probe* dilatometer.
- c) Periksa inti bor hasil pengeboran inti untuk meyakinkan bahwa posisi rencana pengujian berada pada satu jenis batuan.
- d) Lakukan saturasi terhadap *probe* dilatometer sesaat sebelum kalibrasi dilakukan, sesuai ketentuan prosedur dari alat dilatometer yang digunakan.
- e) Lakukan kalibrasi terhadap *probe* dilatometer, sesuai ketentuan prosedur dari alat dilatometer yang digunakan, setiap kali akan melakukan pengujian di suatu lokasi, atau di lingkungan kerja tertentu, atau setiap kali setelah dilakukan reparasi, pembongkaran atau penggantian suku cadang alat.

PERINGATAN Jangan menempatkan posisi *probe* dilatometer pada dinding lubang bor massa batuan yang terdapat rongga, dan/atau *crack/joint* dengan separasi besar, atau pada kolom lubang bor dengan kekuatan batuan tidak seragam atau berbeda secara signifikan.

5.2 Persiapan di luar lubang bor

- a) Julurkan slang hidraulik dan kabel, lalu masukkan ke dalam pipa *casing* berukuran BW khusus yang sudah disiapkan dari ujung atas ke luar di ujung bawah. Kemudian hubungkan kedua ujung slang dan kabel tersebut dengan *probe* dilatometer. Sementara itu, tutup ujung lain slang dan kabel dengan pelindung debu/kotoran (*dust cap*).
- b) Letakkan *probe* dilatometer mendatar, lalu sambungkan ke pipa *casing* berukuran BW dengan kuat. Keluarkan slang dan kabel melalui celah samping pipa *casing*, kemudian pasang kepala pipa *casing* (*subcasing* berukuran BW-batang bor berukuran AW sampai celahnya tepat pada celah pipa *casing*). Kemudian, julurkan slang dan kabel melalui celah tersebut, lalu tempelkan dan ikat dengan selotip pada batang bor berukuran AW pengantar *probe* dilatometer.
- c) Buka pelindung debu/kotoran (*dust cap*) pada ujung slang hidraulik dan kabel, kemudian sambungkan slang hidraulik ke pompa tangan hidraulik dan kabel ke unit alat pembaca (sistem telah tersambung).
- d) Periksa agar semua sistem sambungan hidraulik dalam keadaan baik, tidak bocor, dengan cara sedikit mengembang-kempiskan *probe* dilatometer. Periksa juga kondisi baterai pada unit alat pembaca.

CATATAN Pastikan keempat sambungan slang hidraulik, yaitu dua slang ke pompa hidraulik dan dua lainnya ke *probe* dilatometer harus tepat, dan tidak ada kerusakan atau kebocoran pada sistem.

5.3 Pengujian di dalam lubang bor

- a) Masukkan *probe* dilatometer yang telah dipersiapkan pada subpasal 3.4.1 ke dalam lubang bor secara hati - hati dengan menggunakan batang bor pengantar berukuran AW, tahan pada bagian atasnya dengan klem batang bor (*rod clamp*).
- b) Ambil satu batang bor pengantar lain, lalu sambungkan dengan ujung batang bor pengantar *probe* dilatometer.
- c) Ulangi prosedur butir a) dan b) sampai posisi *probe* dilatometer di dalam lubang bor tepat pada posisi kedalaman rencana pengujian.

PERINGATAN Jangan menahan berat *probe* dilatometer dan batang bor pengantar hanya dengan slang dan kabel dari sistem peralatan (tanpa batang bor pengantar berukuran AW).

- d) Aktifkan unit alat pembaca, tunggu kira - kira 5 (lima) menit untuk membiarkan *probe* dilatometer mencapai keseimbangan temperatur dengan massa batuan di sekelilingnya.
- e) Atur piston bolak - balik (*dual-action*) *probe* dilatometer sepenuhnya pada posisi tarik (lihat gambar pada Lampiran A). Amati dan catat angka bacaan volume pada unit alat pembaca.
- f) Atur katup pengontrol pompa tangan hidrolik ke posisi 1 (posisi siap memompa, untuk pengembangan *probe*), lalu lakukan pemompaan sampai *probe* mengembang dan menekan dinding lubang bor.

CATATAN Amati dan catat bacaan volume pada unit alat pembaca pada saat tekanan pada manometer atau unit alat pembaca menunjukkan mulai adanya peningkatan. Bacaan volume dan tekanan ini dapat menjadi indikasi bahwa dinding lubang bor mulai menerima pembebanan. Evaluasi singkat mengenai diameter lubang uji dapat dilakukan dengan menggunakan grafik hubungan pengembangan diameter membran ekuivalen dilatometer, sebagai fungsi dari bacaan volume, yang dibuat sebelumnya berdasarkan kalibrasi volumetrik "k" dari alat tersebut. Diameter ekuivalen dari grafik tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan batas tekanan kerja maksimal yang dapat diberikan saat pengujian untuk menjaga keamanan alat dilatometer tersebut.

- g) Lanjutkan pemompaan dengan tekanan bertingkat (*incremental*), sebanyak delapan sampai dengan sepuluh tingkat, dengan perbedaan tiap tingkat tekanan 3 450 kPa (500 psi). Pertahankan tekanan konstan pada setiap tingkat tekanan pengujian, catat tekanan itu dan baca volume, setiap selang waktu satu menit sampai mendapatkan nilai bacaan volume relatif sama atau deformasi volumetrik konstan. Perbedaan 5 (lima) persen masih dianggap cukup baik.
- h) Atur katup pengontrol pompa ke posisi 2 (posisi pengempisan *probe* dilatometer), lalu kempiskan *probe* dilatometer dengan pemompaan sampai piston bolak - balik *probe* dilatometer tertarik secara penuh, yang dicirikan oleh nilai bacaan volume pada unit alat pembaca sama dengan RRU, atau jika nampak ada indikasi peningkatan tekanan pada manometer (sirkuit pengempisan).

CATATAN Jika dalam pengujian ini diinginkan juga mencatat data selama fase pengempisan *probe* dilatometer, maka tarik perlahan - lahan katup pengontrol pompa ke posisi 2 (posisi pengempisan *probe*) untuk menurunkan tekanan di dalam *probe*, dan segera kembalikan ke posisi 1 jika telah mencapai tingkat tekanan yang diinginkan. Tunggu sampai stabil, kemudian amati dan catat bacaan tekanan dan volume pada unit alat pembaca. Lanjutkan proses pengempisan *probe* seperti di atas sampai tekanan yang diinginkan berikutnya, dan sampai mendekati nol.

- i) Angkat dan keluarkan *probe* dilatometer dari dalam lubang bor dengan hati - hati dan perlahan - lahan untuk menghindari kerusakan peralatan.

6 Perhitungan

Data yang diperoleh selama pengujian digunakan untuk membuat kurva hubungan antar tekanan (p) dan volume air (V) yang dimasukkan untuk pengembangan *probe* dilatometer (Lampiran B). Dari kurva tersebut, modulus deformasi massa batuan dapat dihitung dengan rumus berikut ini.

$$E_R = 2 (1 + \nu_R) \times (V_o + V_m) \times \frac{1}{\left(\frac{\Delta V}{\Delta p_b} - c\right)} \quad (1)$$

Keterangan:

E_R	adalah modulus deformasi massa batuan, (kPa)
ν_R	adalah nisbah Poisson batuan
V_o	adalah volume awal <i>probe</i> (contoh: $\pm 1\,950\text{ cm}^3$ untuk merk Probex-1), (ml)
V_m	adalah volume air tambahan rata-rata untuk mengembangkan <i>probe</i> dari keadaan awal ($V_m = (V_1 + V_2)/2$), (ml)
V_1	adalah volume air yang disuntikkan ke dalam <i>probe</i> pada saat tekanan p_1 , dan dihitung dengan rumus, $V_1 = (RRU - u_1)k$, (ml)
V_2	adalah volume air yang disuntikkan ke dalam <i>probe</i> pada saat tekanan p_2 , dan dihitung dengan rumus, $V_2 = (RRU - u_2)k$, (ml)
ΔV	adalah $V_1 - V_2$, (ml)
k	adalah faktor kalibrasi volumetrik, (ml/unit)
RRU	adalah pembacaan volume awal pada unit alat pembaca pada saat <i>probe</i> kempis
u_1	adalah penambahan unit volume yang terbaca pada unit alat pembaca pada saat tekanan p_1
u_2	adalah penambahan unit volume yang terbaca pada unit alat pembaca pada saat tekanan p_2
p_{b1}	adalah tekanan yang dipilih pada titik bagian bawah garis linier dari kurva p - V untuk penghitungan E_R , (kPa)
p_{b2}	adalah tekanan yang dipilih pada titik bagian atas garis linier dari kurva p - V untuk penghitungan E_R , (kPa)
Δp_b	adalah selisih p_{b1} dan p_{b2} atau $(p_{b1} - p_{b2})$, (kPa)
c	adalah faktor koreksi volume hasil kalibrasi, (ml/kPa)

Contoh perhitungan

Data dari kalibrasi dan hasil pengujian dimisalkan sebagai berikut (lihat Lampiran B).

$$\begin{aligned} \nu_R &= 0,2 \\ k &= 0,018\,5\text{ ml/unit} \\ V_o &= 1\,950\text{ ml} \end{aligned}$$

Dari kalibrasi :

$$\begin{aligned} a &= 1,190 \times 10^{-3}\text{ ml/kPa} \\ b &= 0,087 \times 10^{-3}\text{ ml/kPa} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor koreksi volume } c = a - b = 1,103 \times 10^{-3}\text{ ml/kPa}$$

$$\begin{aligned} p_{b1} &= 0,995 \times 2\,000\text{ psi} \\ p_{b2} &= 0,995 \times 3\,000\text{ psi} \end{aligned}$$

Pembacaan volume pada unit alat pembaca :

$$\begin{aligned} RRU &= + 19\,000\text{ unit} \\ u_1 &= + 5\,335\text{ unit} \\ u_2 &= + 2\,114\text{ unit} \end{aligned}$$

Penghitungan :

$$\begin{aligned} V_1 &= (19\,000 - 5\,335)\text{ unit} \times 0,018\,5\text{ ml/unit} = 252,8\text{ ml} \\ V_2 &= (19\,000 - 2\,114)\text{ unit} \times 0,018\,5\text{ ml/unit} = 312,4\text{ ml} \\ V_m &= (V_1 - V_2) / 2 = 282,6\text{ ml} \end{aligned}$$

$$\Delta V = V_1 - V_2 = 59,6 \text{ ml}$$

Tekanan yang bekerja di dalam *probe*

$$p_{b1} = 0,995 \times 2\,000 \text{ psi} = 1\,910 \text{ psi} = 13\,167 \text{ kPa}$$

$$p_{b2} = 0,995 \times 3\,000 \text{ psi} = 2\,865 \text{ psi} = 19\,751 \text{ kPa}$$

$$\Delta p_b = p_{b1} - p_{b2} = 995 \text{ psi} = 6\,584 \text{ kPa}$$

$$E_R = 2(1 + \nu_R) \times (V_o + V_m)^{\nu} \times \frac{1}{\left(\frac{\Delta V}{\Delta p_b} - c\right)}$$

$$= 2(1 + 0,2) \times (1\,950 + 282,6) \times \frac{1}{\left(\frac{59,6}{6\,584} - 0,001\,03\right)}$$

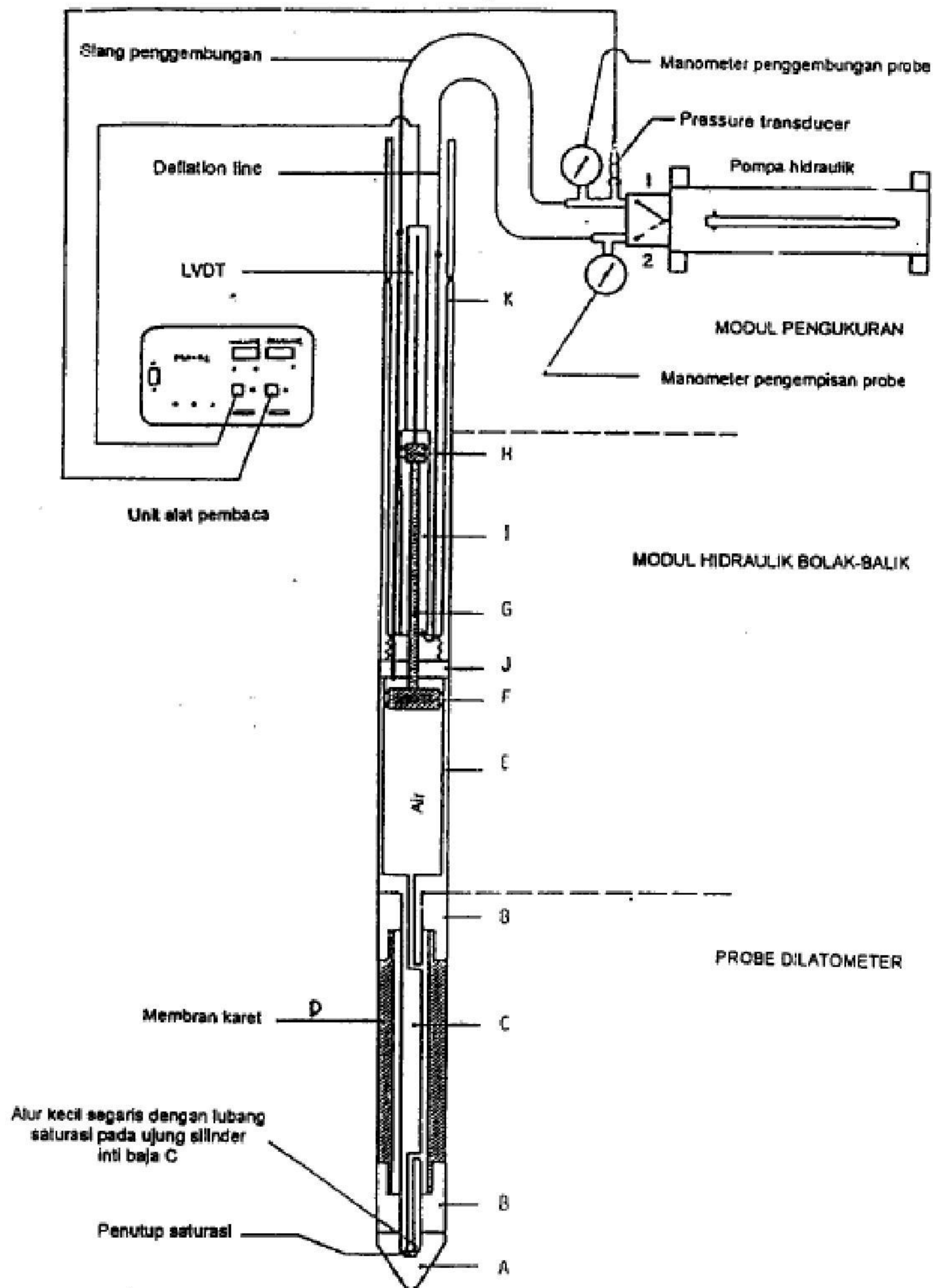
$$= 667\,920 \text{ kPa} = 667,92 \text{ MPa}$$

7 Pelaporan

Laporan hasil uji harus memuat hal - hal berikut ini.

- a) Lembar data hasil pengujian dalam bentuk tabel yang minimal berisikan :
 - nama kegiatan, lokasi, dan tanggal pengujian,
 - nomor pengujian dan lubang bor,
 - elevasi uji,
 - nomor kalibrasi alat,
 - nama pengujian dan pengawas pengujian,
 - RRU, ν_R , k, V_o ,
 - data bacaan volume (V) dan tekanan (p).
- b) Data hasil kalibrasi yang (sesuai dengan alat dilatometer yang digunakan) berisikan :
 - grafik kalibrasi kehilangan tekanan,
 - grafik kalibrasi kehilangan volume,
 - nilai a,
 - nilai b,
- c) Grafik hubungan antara tekanan dan volume.
- d) Hasil penghitungan modulus deformasi massa batuan E_R .

Lampiran A
(informatif)
Skema sistem peralatan dilatometer tipikal

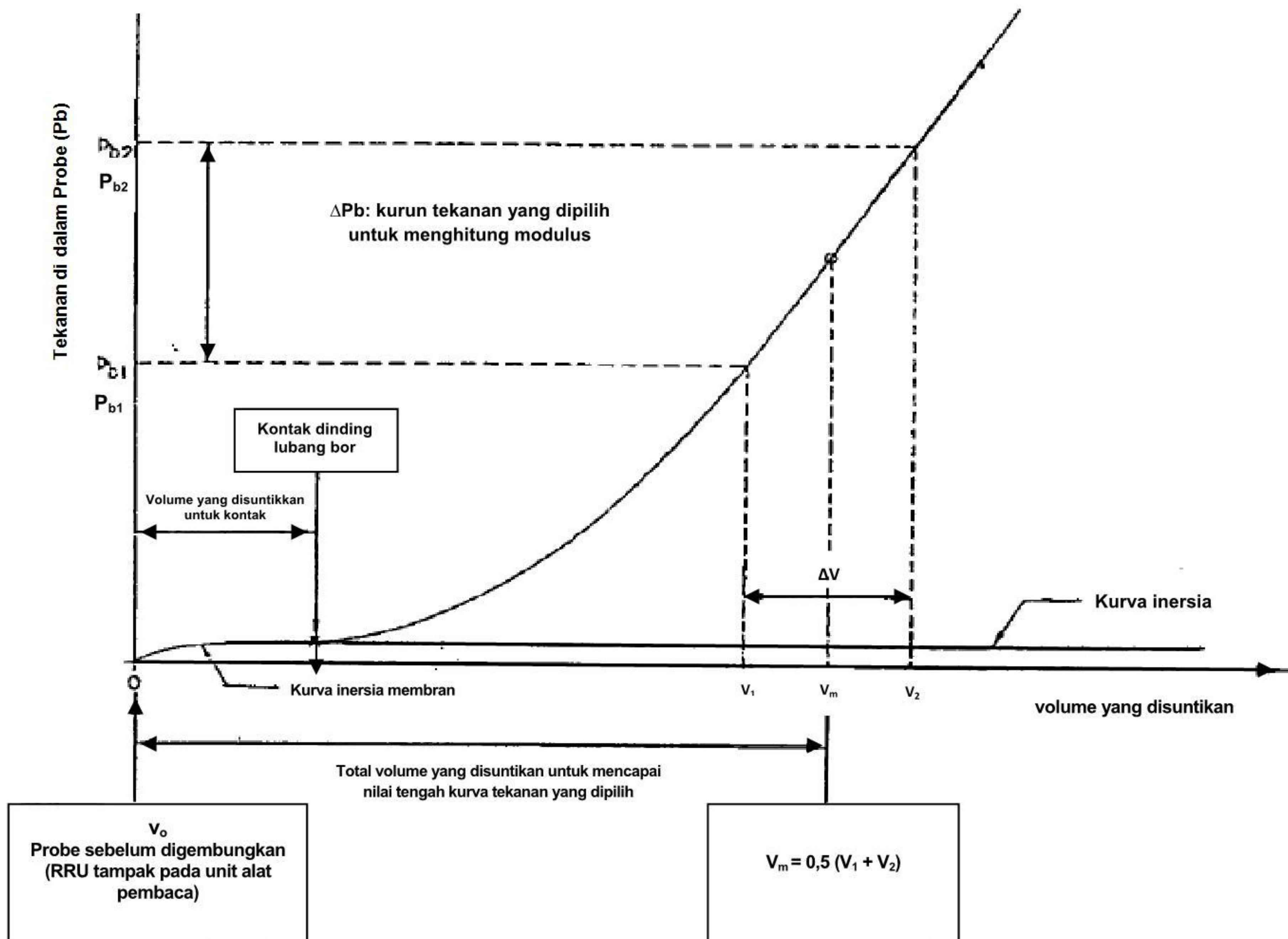


Keterangan gambar

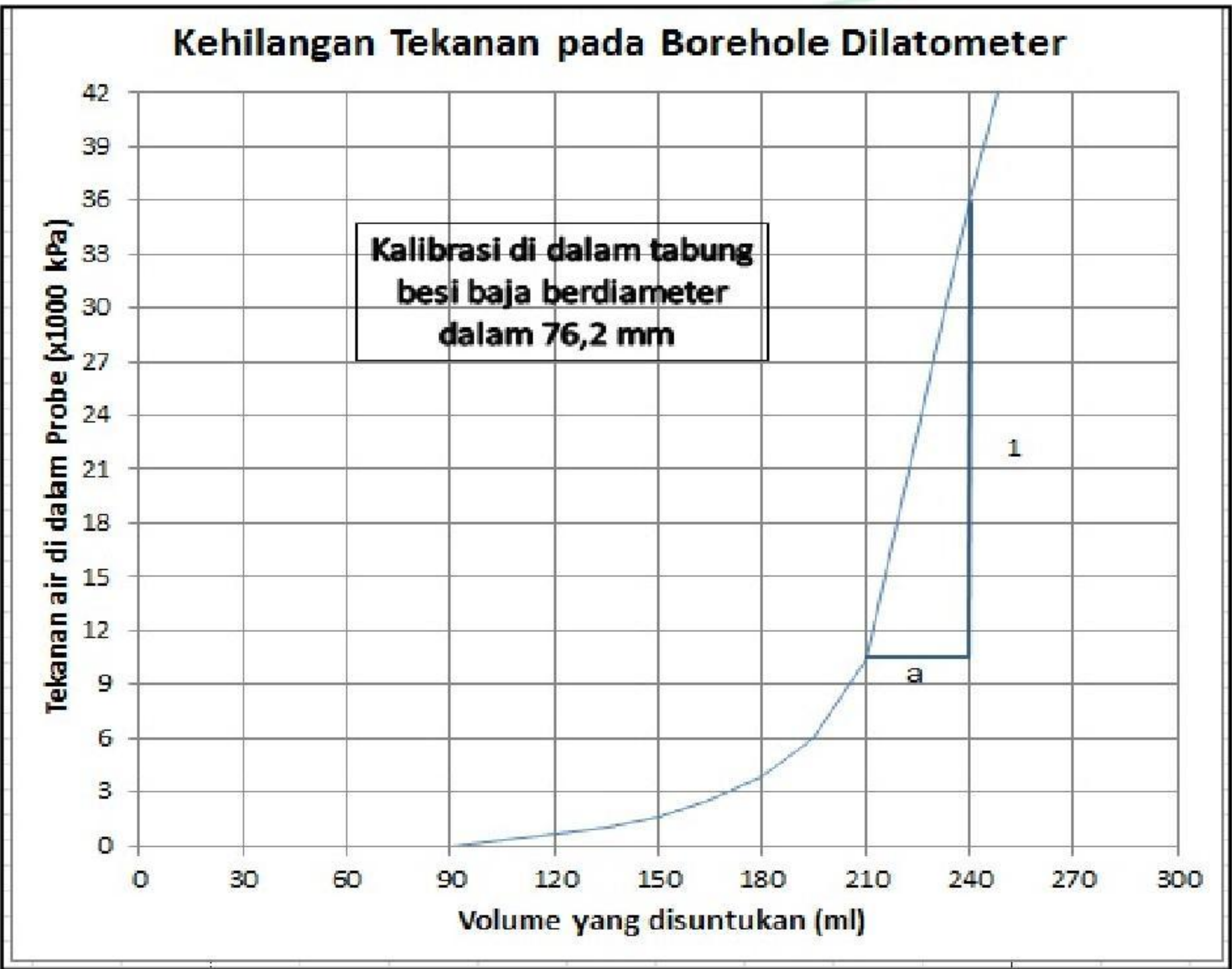
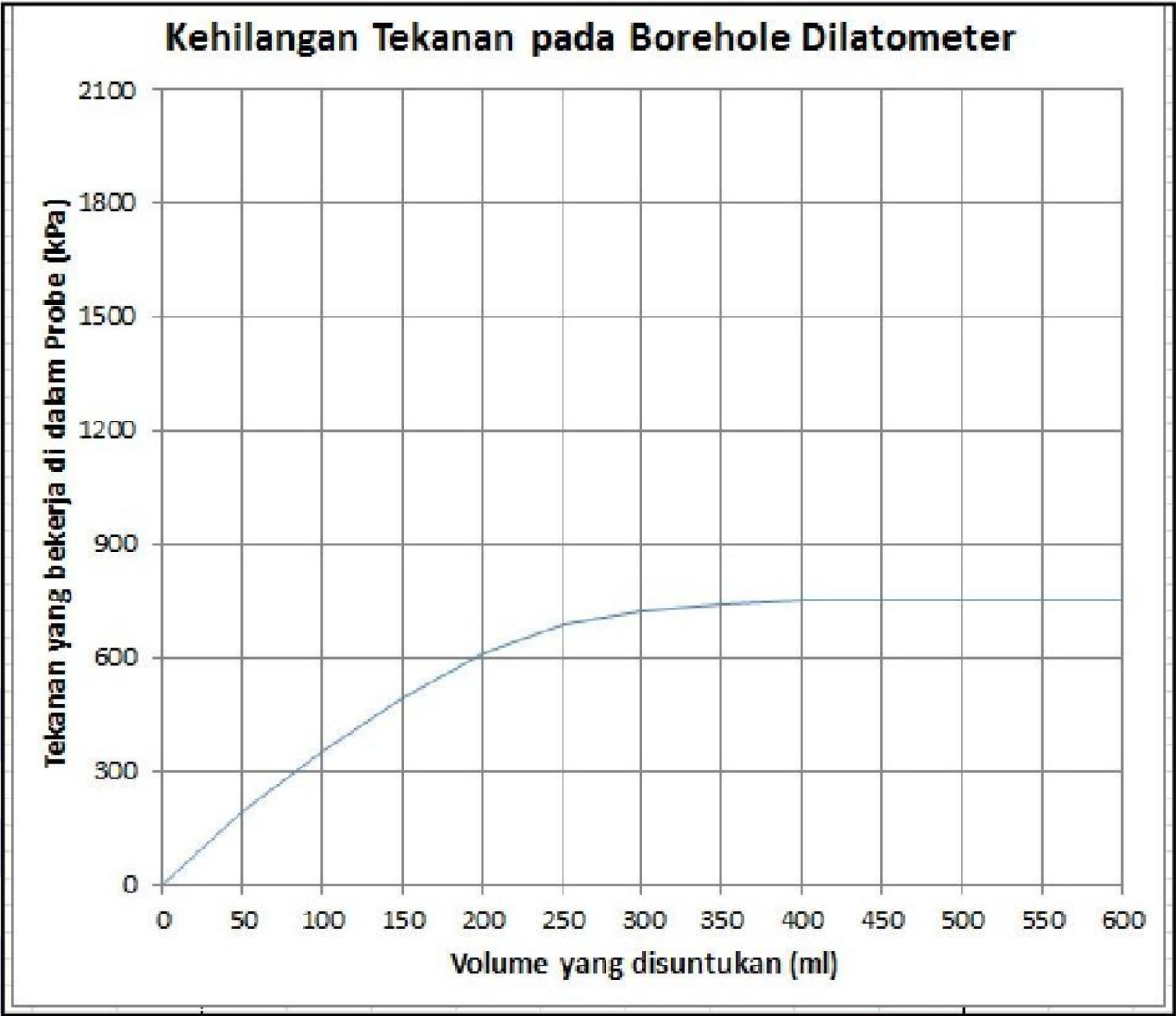
- A : Penutup konus baja (*conical end cap*)
- B : Kepala membran probe dilatometer dari besi baja
- C : Silinder inti besi baja (*steel core*)
- D : Membran probe dilatometer (karet)
- E : Silinder air di dalam probe
- F : Piston hidrolik bolak-balik untuk penekan air di dalam silinder E
- G : Batang piston F
- H : Piston hidrolik bolak-balik, yang ditekan oleh minyak hidrolik (oli) untuk proses pengembisan probe
- I : Silinder minyak hidrolik di dalam probe
- J : Sekat pengontrol silinder air dan silinder minyak hidrolik
- K : Pipa *casing* luar pelindung modul hidrolik bolak-balik



Lampiran B
(Informatif)
Skema kurva tekanan volume pada uji dilatometer



Lampiran C
(informatif)
Contoh kurva kalibrasi



Bibliografi

Designation USBR (United States Bureau of Reclamation) 6575-09, Determining insitu deformation modulus using a flexible volumetric dilatometer, 2009

